

凍結乾燥ウミホタル生物発光教材を使用した実践とその教育効果の評価

戸谷義明・伊藤弘晃

理科教育講座 (化学)

Evaluation of the Educational Effect of the Experimental Demonstration for Bioluminescence by Using Freeze-dried *Vargula* (formerly *Cypridina*) *hilgendorffii* Bodies as a Teaching Material

Yoshiaki TOYA and Hiroaki ITO

Department of Science (Organic Chemistry), Aichi University of Education, Kariya, Aichi 448-8542 JAPAN

ABSTRACT

The bioluminescence has been one of the most beautiful, wonderful, amazing, attractive, and impressive natural phenomena for the people since early times. For instruction of the bioluminescence, the demonstration of *Vargula hilgendorffii* (formerly *Cypridina hilgendorffii*, Umi-hotaru in Japanese, meaning Sea-firefly) bioluminescence was chosen and the procedures of the experimental practice were investigated. Freeze-dried *Vargula* bodies with high bioluminescent activity, producing strong light in small amounts, were prepared and used for the experiment. Eight times of the experimental practice were performed during 2006 and 2007 at schools or public facilities. The practice proved to be educationally useful and effective for students to study the overview and fundamental of bioluminescence and to evoke the interest in natural sciences by analyzing the questionnaire data. School teachers can perform the experiment very easily and can gain much educational advantage from the wonderful and beautiful natural phenomena, because no harmful substances would be included in this teaching material and no special technique and disposal treatment are required for the experiment.

1. はじめに

物質の化学変化 (化学反応) に伴って光が出る現象を化学発光といい、これは高温の物体から光が出る熱放射とは異なる。多くの場合、化学発光は燃焼や鉄の錆生成と同様の、物質が酸素と結びつく酸化反応で、有機物の発光物質が酸素や過酸化水素によって酸化されることにより生じる。一般の酸化反応では、反応で発生したエネルギーは通常、熱として放出されるが、化学発光の酸化反応では励起された分子が生成し、これが基底状態に戻る際に、熱ではなく、光としてエネルギーが放出される非常に特殊な現象である。

化学発光の実用例としては、ルミノールによる血痕判定、ペンライトがよく知られている。他にも研究分野における高感度微量分析にも広く応用されている。

生物が発光する現象である生物発光は、化学発光の一種であり、発光反応に酵素などのタンパク質 (全ての生物で構造が異なる) が関与することが大きな特徴

である。生物発光で発光する (ために酸化される) 物質はルシフェリン (発光素) と呼ばれ、生物門で構造が異なる 7 種類のものがこれまでに判明している。ルシフェリンが酵素ルシフェラーゼの助けで酸素などと反応し、これに伴って発光を生じる。これをルシフェリン-ルシフェラーゼ反応系という。一方、ルシフェリン、ルシフェラーゼ、および酸素が合体した形に相当するもの (発光タンパク質) もあり、ある種の金属イオンなどの引き金で反応が起こり、発光する。これを発光タンパク質系という。

生物発光の実用例としては、ホタルの系による調理場や手洗いの細菌汚染検査 (アデノシン三リン酸 ATP を検出) が有名である。他にも研究の分野では、ホタルの系、および発光クラゲの発光タンパク質エクオリンによる超高感度微量定量分析 (ATP, カルシウムイオン Ca^{2+} を検出), およびルシフェラーゼ遺伝子のタンパク質発現レポーターとしての利用が広く行われている。

生物発光は、美しく魅惑的であるだけでなく、この世で最も不思議で神秘的な現象の1つである。時代や場所を問わず、人々の興味をひき、心を虜にし、人々に感動を与えてきた。科学者がその秘密を知ろうと情熱を燃やすのも当然であろう。とりわけ、生物発光の効率（発光量子収率 = 放出される光子の数 ÷ 発光物質の分子の数）は、一般の化学発光に比べて高く、その機構はエネルギー変換の見地から極めて興味深いものである。生物発光反応に関する物質の特定、構造決定、ルシフェリンの化学合成、さらにルシフェラーゼなどの遺伝子操作による調製が行われ、その高効率発光機構の秘密の解明が続けられている。

生物発光は極めて美しく魅力的で不思議な自然現象であり、児童・生徒に科学の面白さや不思議さを強く実感させられる効果的な教材として非常に有用であると考えられるにも拘わらず、理科の学習指導要領で重点的に取り扱われているとはいえない。生物発光については高校の生物Iの多くの教科書で、生物体の構造の発光・発電器官として、ホタルやウミホタル (*Vargula hilgendorffii*, 以前は *Cypridina hilgendorffii*) が取り上げられている程度である。生物発光の教材としては、ホタルの生物発光実験ができる「ホタライト」や乾燥ウミホタルが市販されている。生物発光は生物I、生物IIの学習指導要領の酵素にも関連しており、酵素については中学校理科の第2分野の内容「動物の体のつくりと働き」で1つまたは2つの消化酵素の働きを取り上げることになっている。唾液のアミラーゼによるデンプンの分解実験の代わりに、酵素ルシフェラーゼによる発光物質ルシフェリンの発光による、リアルタイムの反応の進行の観察や、熱やpHによる酵素ルシフェラーゼの安定性を調べる実験も報告されている^{1,2)}。

ウミホタルの生物発光実験は小中高等学校で行われることがあり、児童・生徒に非常に好評であるという評判をよく聞く。実際、本学に入学してきた学生への調査によると、ウミホタルの生物発光実験は、経験した生徒に好印象を与え、記憶に残っている理科実験の1つである。

以上のことから、今回、生物発光・化学発光の面白

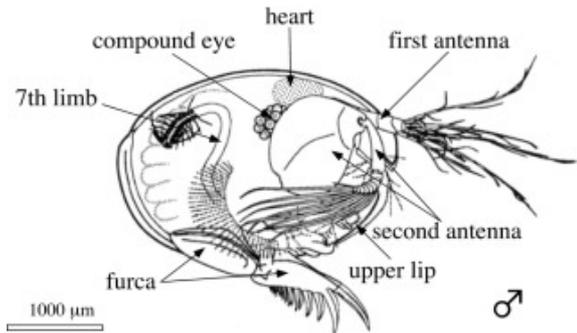


図1 ウミホタル線描画(元静岡大学 故阿部 勝巳 博士作)

さを広く世の中の人々に知ってもらい、理科好きの児童・生徒を育てるために役立つことを目標に、ウミホタル生物発光教材を使用した実践を行った。その教育効果をアンケートにより調べた結果を報告する。

2. ウミホタル^{3,4)}と生物発光の実験教材としての特徴

ウミホタルは日本固有の生物で、エビやカニと同じ甲殻類で、平均2～3mm、最大5mm程度の体長の、二枚貝のような2枚の透明な殻を被ったミジンコのような形状(介形目)の生物である。ウミホタルの線描画を図1に示す。青森県から沖縄県までの広い範囲で、淡水の流入の少ない、比較的穏やかで海底が砂地の海岸に生息し、特に千葉県南房総や瀬戸内海岸に多く生息する。ウミホタルは夜行性で、明るい間は砂の中に潜んでいるが、暗くなると、砂からはい出し、死魚やゴカイなどの餌を求めて主に海底付近を遊泳する。この際に刺激されると、2つの上唇腺から別々に、発光物質ルシフェリンと酵素ルシフェラーゼを海水中に放出する。これらが海水で混合されて青紫色の光雲が生成すると同時に、自分自身は暗闇の方へ逃げ去る。ウミホタル自身は強い光に対して負の走光性を示す。

ウミホタルの生物発光は、発光物質ルシフェリンが、酵素ルシフェラーゼの触媒下、海水中の溶存分子状酸素 O_2 により酸化される反応である。反応には、ホタルの生物発光に必須であるATPのような他の物質は必要としない。ウミホタルの生物発光反応を図2に示す。

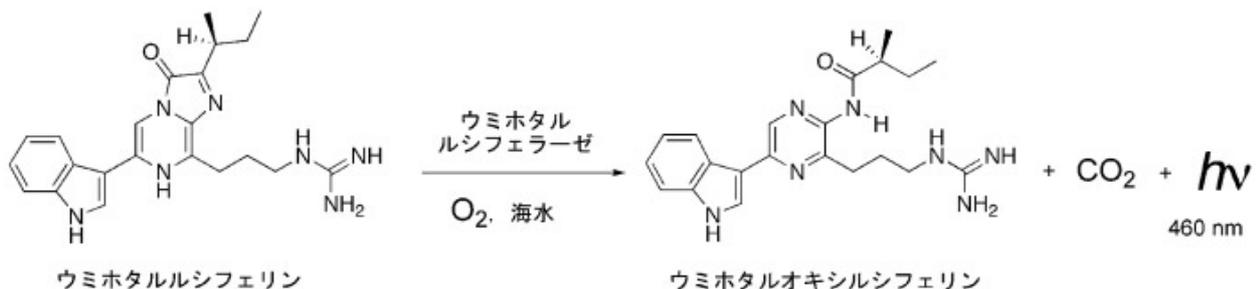


図2 ウミホタルの生物発光反応

ウミホタルの生物発光は神秘的かつ魅惑的な現象で、乾燥ウミホタルまたは生きたウミホタルの電気刺激により観察できる。実験教材として以下のような特徴（長所と短所）を有する。

長所

- 1) 乾燥ウミホタルは市販品があり、乾燥した状態で（冷凍・冷蔵で）保存すれば長期保存が可能で、水を加えるだけで強い発光が観察可能である。ある程度の量が採集できれば、各自で調製することもでき、後述するように、より優れた凍結乾燥ウミホタルも調製可能である。
- 2) ルシフェラーゼはホタルのルシフェラーゼに比べて安定で、失活しにくい。
- 3) 生体試料に毒性はおそらくなく（データなし）、安全性が高い。手で直接触れることができる。廃棄が容易である。
- 4) 市販のホタル生物発光教材「ホタライト」と異なり、生体試料なので、実際の生物からの発光を実感できる。
- 5) 「ホタライト」（黄色と赤色の発光色がある）にない、多くの児童・生徒が好きな青色の発光が観察可能である。「ホタライト」の実験と同時に行えば、教材実験として赤色、黄色、青色の信号色の生物発光実験ができる。
- 6) 生きたウミホタルが入手できれば、電気刺激⁵⁾により、殺してしまうことなく発光観察が可能（交流30 V⁶⁾）である。

短所

- 1) 市販の乾燥ウミホタルは3～4 mLで¥5250以上と高価である。1回の実験あたり1 mL（乾燥ウミホタル0.21 gに相当）使用すると、¥1313以上/回のコストになる。
- 2) 生息地での採集量に依存し、理化学業者から安定的に市販供給されないことがある。
- 3) ホタルの「ホタライト」のように、ルシフェリン、ルシフェラーゼを供給することが困難である。現時点ではウミホタルの生物体そのものが必要である。
- 4) ウミホタルの長期飼育や継代飼育はかなり困難で、試行錯誤の段階である。

以上の特徴を考慮し、まず、ウミホタルの生命を犠牲にした貴重な生体試料を有効に活用するために、乾燥ウミホタルに比べて高発光能を有し、少量で実験が可能な凍結乾燥ウミホタルを調製して教材とした。ついで、この凍結乾燥ウミホタルを使用し、簡単に効果的な実験法で実践を行った。

3. 凍結乾燥ウミホタルの調製と実験法

2005年、2006年、および2007年の夏に千葉県館山市館山棧橋においてウミホタルを採集した。採集したウ

ミホタルを直ちに液体窒素で凍結し、凍結ウミホタルとした。これをドライアイスとともに持ち帰り、冷凍庫に保存した後、凍結乾燥機（トラップ温度-80）で凍結乾燥し、凍結乾燥ウミホタルを得た。得られた凍結乾燥ウミホタルの質量は凍結ウミホタルの湿質量の23%であった。凍結乾燥ウミホタルはレトルトパウチに分けて真空包装し、また、その一部はアルゴン置換したガラスアンプルに封入し、冷凍、または室温下での保存条件による発光能の変化を調査中である。現時点では、レトルトパウチに封入し、冷凍、または室温（少なくとも半年以上）で長期保存が可能であることを確認している。凍結乾燥ウミホタルの調製の詳細と発光能については別報で報告する予定である。なお、乾燥ウミホタルは天日乾燥の他、新聞紙に重ならないように広げたウミホタルの上下に、シリカゲルを入れた新聞紙の層を挟み、ウミホタルがさらさらしてくるまでシリカゲルをときどき交換する方法が文献³⁾の阿部の本に記述がある。凍結乾燥ウミホタルについてWeb検索したところ、広島県の高校2年生による2002年の教材・教具フェアへの発表作品⁷⁾があった。採集したウミホタルを新聞紙と水切りネットで水分を除いた後、紙箱に入れ、これを冷凍庫に3か月ほど入れて水分を自然昇華させてフリーズドライウミホタルを調製し、このものが乾燥ウミホタルより強く光るといふ記述もあった。

実験法は以下のとおりである。凍結乾燥ウミホタル0.10 g（乾燥ウミホタルで85～196匹に相当）を無色のガラス製乳鉢（75 mm）に入れる。これに水1 mLを加え、部屋を暗くし、乳棒でよくすりつぶすと青白い光が観察できる。つぶせばつぶすほどよく光る。発光している液を指で触ると指が光り、熱くないところから光が出ていることが確認できる。実験後に手洗いをを行う。

4. 実践の記録

実践依頼があった、以下の表1に示す8件の学校等の授業や実験講座（サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト SPP 事業、やスーパー・サイエンス・ハイスクール SSH 事業を含む）において、ウミホタルの生物発光実験を行い、実験後にアンケートを実施した。受講者は主に小学校3年生からから高校3年生までの児童・生徒で、その数と内訳は小学生151名、中学生17名、高校生92名、保護者5名、教員8名、総計273名であった。表1に示したように、名東生涯学習センター（29名）、瑞穂青年の家（19名）、および各務原西高等学校（31名）、計79名対象の実践ではウミホタルの生物発光実験のみを行い、a)の計120名対象の実践では、ウミホタルの生物発光実験とホタルの生物発光個別実験を同時に実施し、b)の計68名対象の実践では、ウミホタルの生物発光実験とホタルの生物

発光個別実験およびペンライトの化学発光個別実験を同時に実施した。

日	学校等名・講座名	受講者
06/30/2006	愛知県弥富市立弥生小学校SPP ^{a)}	小5, 88名 (未回収4名)
08/08/2006	名古屋市瑞穂青年の家 おもしろサイエンス教室	小19名 保護者5名 (未回収1名)
08/10/2006	愛知県瀬戸市立本山中学校 理科実験講座 ^{a)}	小14名 中17名 (未回収1名) 高1名
08/23/2006	愛知教育大学 教員研修SPP ^{b)}	教員8名
08/25/2006	愛知教育大学 サイエンス・ サマー・キャンプ ^{b)}	高20名
02/24/2007	名古屋市名東生涯学習センター 化学マジック& お菓子作り実験講座	小4~小6 30名 (未回収1名)
06/16/2007	岐阜県立各務原西高等学校 ^{c)} 日本化学会東海支部 出前化学実験講座	高3, 29名 高2, 2名
07/18/2007	名古屋市立向陽高等学校SSH ^{b)}	高1, 40名

表1 実践の記録

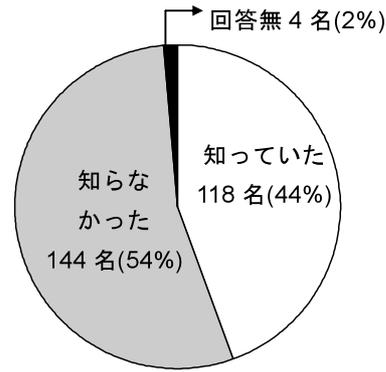
- a) ホタルの生物発光個別実験を同時に実施
- b) ホタルの生物発光個別実験およびペンライトの化学発光個別実験を同時に実施
- c) ペンライトの化学発光マジックを同時に実施

5. アンケートの項目と結果の分析

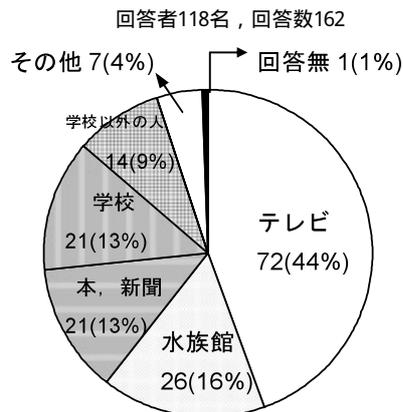
アンケートの回収数と内訳は小学生146名, 中学生16名, 高校生92名, 保護者4名, 教員8名, 総計266名で, 小学生5名, 中学生1名, 保護者1名より未回収であった。アンケートの項目と回答, および分析結果を次に示す。なお, 保護者5名, 教員8名にはウミホタルの認識度と情報源のみ質問した。

- 1) 全回答者(266名)の, 「これまでにウミホタルを知っていたか」という質問への回答は, 知っていた(118名), 知らなかった(144名), 回答無(4名)であり, ウミホタルという生物の認識度は44%であった。従って, 認識度がほぼ100%のホタルに比べると, ウミホタルは知られていない生物であることが確認できた。
- 2) ウミホタルを知っていた回答者(118名, 複数回答可)に, を問う質問に対し, 情報源(回答数162)として一番多かったのはテレビ(回答数72の44%, 回答者の61%)であり, 以下, 水族館(26), 本や新聞(21), 学校(21), 学校以外で人から(14), その他(7), 回答無(1)の順であった。その他には修学旅行やアクアラインの海ほたるPAで

「これまでにウミホタルを知っていたか」



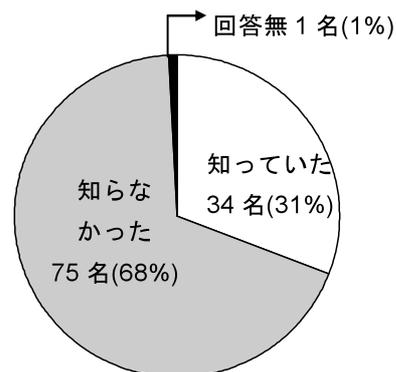
「ウミホタルをどこで知ったか」



見た, などの回答があり, 水族館などで実際に本物のウミホタルを見たことがあるのはウミホタルを知っていた回答者118名の4分の1程度であった。

- 3) ウミホタルを知っていた回答者(118名)のうちから名東生涯学習センター(小6, 1名), および教員(7名)を除いた回答者110名の「ウミホタルと夜光虫が違うことを知っていたか」という質問への回答は, 知っていた(34名), 知らなかった(75名), 回答無(1名)であった。ウミホタルを知っていた回答者の約7割が多細胞生物の甲殻類のウミホタルと, 単細胞生物の渦鞭毛藻

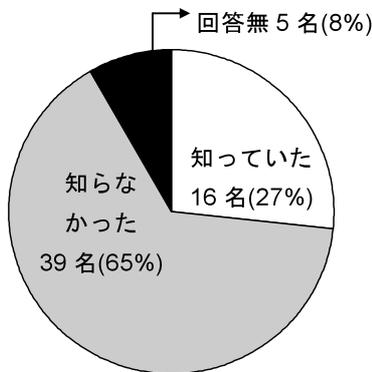
「ウミホタルと夜光虫が違うことを知っていたか」



類である夜光虫と同じものと思っていたと考えられた。このことから、ウミホタルは詳細が知られていない生物であると推測された。

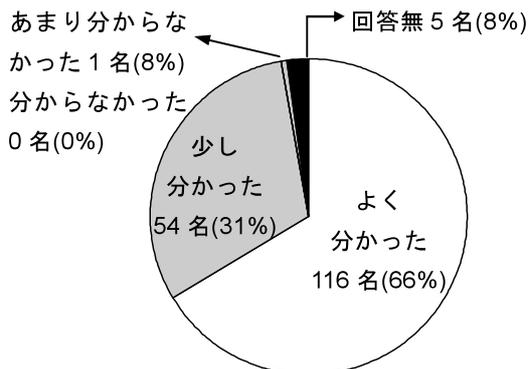
- 4) 本学サイエンス・サマー・キャンプ, および向陽高等学校のSSHに参加した高校生60名に対し, 「生物発光や化学発光では光が放出され, ほとんど熱が出ないことを知っていたか」という質問をした。これに対し, 知っていた(16名), 知らなかった(39名), 回答無(5名)という回答であった。生物発光や化学発光には発熱が伴わないということを知っていた生徒は約3割で, 少数派であることが分かった。

「生物発光や化学発光では光が放出され, ほとんど熱が出ないことを知っていたか」



- 5) ウミホタルとホタルの生物発光実験を同時に行った児童・生徒に対し, 「ホタルやウミホタルが光る仕組みが分かったか」という質問を行った。回答者175名(実践a, b)の合計188名から教員8名と未回収分5名を除いた人数の内訳は, よく分かった(116名)が66%, 少し分かった(54名)が31%, あまり分からなかった(1名), 分からなかった(0名), 回答無(4名)という結果であった。「よく分かった」と「少し分かった」の両方を合わせると97%であり, 我々が行った生物発光の解説と実験を通じ, 多くの児童・生徒が生物発光の仕組みをある程度理解できたと考えら

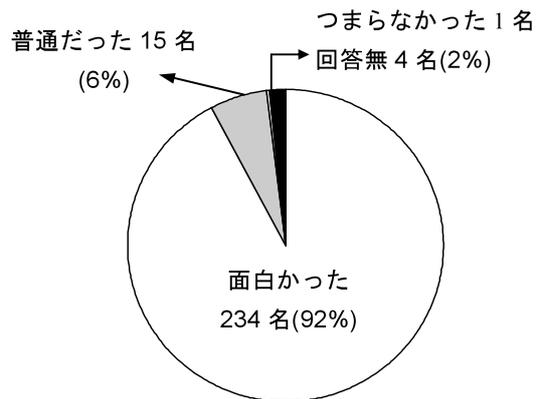
「ホタルやウミホタルが光る仕組みが分かったか」
あまり分からなかった1名(8%)
分からなかった0名(0%)



れた。

- 6) 保護者・教員以外の実験を受講したすべての児童・生徒に対し, 「ウミホタルの生物発光実験は・・・」というウミホタル生物発光実験の面白さを問う質問を行った。回答者254名の内訳は, 面白かった(234名), 普通だった(15名), つまらなかった(1名), 回答無(4名)という結果であった。92%が面白かったと回答しており, ウミホタル生物発光実験は大多数の児童・生徒に非常に好意的に受け止められていることが分かった。普通, つまらないと回答した少数の児童・生徒の回答理由としては, 後述するように, くさい臭いをあげている回答が多かった。凍結乾燥ウミホタルは生体試料であり, 水を加えると海産生物独特の生臭い不快な臭いがする。凍結乾燥なので, 乾燥ウミホタルよりもその臭いは強く, そのことを反映する回答理由であった。しかしながら, 生臭い臭いがするからこそ, 実際の海の生物からの発光であるという実感がわくという教育的な一面もあり, 指導法に工夫が必要であると思われた。

「ウミホタルの生物発光実験は...」



- 7) 既述した6)の質問への回答の際に, ウミホタルの生物発光実験が面白かった理由を自由記述してもらった。典型的な例(原文)を以下に列記する。
- ・しがいののに水をつけるとひかるのがすごかった。(小4男)
 - ・青色の光が水をそそいだけで出て, 手につけたりもできて最後に意外なびっくりもあったから。(高1男)
 - ・においはくさかったけどひかっているときれいだったから。(小4女)
 - ・生物をすりつぶして茶色になるのは納得だけど, 青白い光がとてもキレイだった。臭いは別として, 暗い海の中にこの生物を見れたら幻想的でいいと思った。(高1女)
 - ・とてもきれいに光って, 驚いたけど, へやの明りをつけたら, ただの茶色いへなちょこで, もっとびっ

くりしたから。(高1女)

- ・あそこまで乾燥(凍結で)していたものから青白くてきれいな光がでたから。光っているときと、電気をつけたときのギャップもすごかった。(高1男)
- ・こんなキレイな光を見るのは、はじめてだった。指につけて光るのもおもしろかった。(高1女)
- ・ウミホタルの光るしくみが解った 熱くなかったのがふしぎ(小6男)
- ・すりつぶしたときはくさかったけどウミホタルという生物がどうやってひかるかわかったから(中1男)
- ・はじめて見たから(小4女)
- ・本物のウミホタルを見たことがなかったし、生物を受講していなくて実験も初めてだったから。(高3女)
- ・生でウミホタルの光は見たことがなく、またウミホタルは発光物質を外に出すことで光らせると知ったため。(高1男)
- ・小さい生き物なのにその体に秘めている不思議はスゴイものなんだなあと思った。(高3年男)

以上の回答から、児童・生徒は、1)初めての経験、2)知らなかったことを知ることができた満足感、3)生物発光という現象への驚き、4)発光がキレイなこと、5)暗時のきれいな発光と明時のきたない姿&くさい臭いとギャップ、などから面白さを感じていることが明らかになった。

6. 凍結乾燥ウミホタルの配付、および使用後の教材としての評価の依頼

我々が実践した以外に、以下の10校の教員に、標準的な実験方法とともに凍結乾燥ウミホタルを配付し、理科実験で活用してもらい、教材としての有効性、および取り扱いの容易さを評価・確認するために、アンケートへの回答を依頼した。

愛知県立西尾東高等学校、愛知県立岡崎北高等学校、愛知県立宝陵高等学校、名古屋市立明豊中学校、名古屋市立本城中学校、名古屋市立田光中学校、名古屋市立山王中学校、愛知県立作手高等学校、本学附属岡崎中学校、千葉県立千葉工業高等学校。

アンケートの項目、および回答があった4高等学校(1校は未使用で未評価)および本学附属岡崎中学校の教員からの回答(一部省略抜粋)は以下のとおりである。

1)いつ、どこで、どのような機会に、どのような方法で使用しましたか?

- ・専攻科、2年、3年の授業3クラス(A高)
- ・2年2クラスの化学Iの反応熱の単元(B高)
- ・自宅において乾燥ウミホタルとの発光強度の比較、および科学部の活動時間(C高)
- ・平成18年2月上旬、3年生の理科の授業で、エネルギーの単元の一部で使用。ウミホタルの発光と化学

発光の両方を見せて、考えさせた。また、ウミホタルの光るしくみについて調べるという課題を与え、レポートを提出させた。(附中)

2)実験演示者、または実験指導者として「ウミホタル生物発光教材」を使用した感想

- ・教材さえあればとても簡単に行える実験であり、大変興味を持ってもらえるので、今後も行っていただけると幸いです。来年も教材を分けていただければ幸いです。(A高)
- ・実験はとても簡単でミスが絶対無いので、とてもよい実験だと思った。(B高)
- ・明らかに凍結乾燥ウミホタルの方が明るく発光し、発光がさらに持続する(C高)
- ・保存、取り扱いの手間がなく、強い発光が安定して観察できるのが大変魅力的である。(C高)
- ・ウミホタルの光自体は神秘的であるが、やはり昼間教室での授業で使用となると、若干暗い。暗幕を閉めた理科室でも昼間では神秘さが半減します。(附中)

3)実験観察者、または実験者である生徒・教員等の反応、および感想

- ・どのクラスでも、ウミホタルの発光を見た瞬間、感動の声が上がりました。生物が死んでいても発光することにも、不思議を感じているようす。化学発光でも、そのきれいさに、感動の声が上がりました。自分の感動を友達に伝えたいのか、使用が禁止されている携帯電話を取り出して、撮影の許可を求める生徒も多くいました。(A高)
- ・幻想的な光を出し、しかも乳鉢は冷たいままで熱くならないので生徒はとても驚いていました。海産物特有の生臭さがあるので海にいる生物が作った物質による発光だということもよく理解できた。(B高)
- ・生徒達は「ウミホタル生物発光教材」の発光の美しさと発光後の残渣のギャップに一応に興味関心を示した。総じて好評であった。(C高)
- ・においのことで一部の生徒が生理的にNGを出していた反面、多くの生徒が興味関心を抱いた。カリキュラムの一部に取り入れるためにはもう少し研究が必要と感じた。カリキュラムのどこへ位置づけるか。化学のエネルギー分野(3年)、生物分野で水中の微小生物(1年)、生物分野で動物のからだのつくり(2年)、附中の時間の追究ネタとして、興味を覚えた子どもが調べていくのによい教材になるかもしれない。(附中)

4)「ウミホタル生物発光教材」の保存や取り扱い(試薬としての)は

1. 簡単(高3) 2. 普通(附中0) 3. 難しい(0)

理由:

- ・入れていただいた袋で、しっかり空気を抜いてさらにラップで包み、冷凍室に入れておいたら、(2, 3

か月後も)最初と全く変わりなく使用できました。
もっと長く持ちそうです。(A高)

- ・回答無(B高)
 - ・保存や取り扱いに特別な気遣いや特別な道具を必要としない(C高)
 - ・試薬としてはとても扱いやすいが、やはり使用場所の問題がある。真っ暗な場所でこそ神秘さを感じることができる。(附中)
- 5)「ウミホタル生物発光教材」への要望,改良すべき点,他,自由記述
- ・発光を観察した生徒たちが、今後自然界で生物発光を目にした時、ただきれいではなく、今回学んだことを思いだし、生命の神秘を感じてくれるのではないかと考えています。(A高)
 - ・戸谷先生のいた研究室では、友人から採集旅行へ行ったことを聞いています。このウミホタルも、苦労して集めたものだと思います。大切に扱ったつもりです。その思いが子供たちに伝わればと思います。ウミホタルを大量に飼育・増殖させる技術ができれば、もっと普及できると思います。(B高)
 - ・(凍結乾燥ウミホタルに)予想以上に発光物質が多く含まれていることに驚きました。生きたウミホタルと共に活用。生物発光の意義まで考えさせられるよい教材となると思います。(C高)
 - ・改良点は特にありません。また機会がありましたらトピック的に扱いたいと考えます。(附中)

以上の結果から、1)凍結乾燥ウミホタルは乾燥ウミホタルより発光が強い、2)我々の実践以外でも、ウミホタル生物発光実験は生徒に感動を与え、好評である、3)凍結乾燥ウミホタルは、現場の教員にとっても取り扱いが簡単で、生徒に生命の神秘を感じさせるために有効な教材である、4)効果を高めるには暗室の確保が不可欠である、ことが実際に確認できた。

7.まとめ

今回行ったアンケートより、ウミホタルの生物発光実験は、実験結果としてきれいな青い光が出ることもあり、圧倒的に児童・生徒の興味・関心を強く引き付け、理科好きの児童・生徒を育むための強力で有用な教材であることが判明した。単にきれいで面白いだけでなく、児童・生徒に生物発光の概要(酵素存在下で酸素と発光物質とが化学反応)と、光そのものは熱くなく、熱くないところからも光が出ることを確実に理解させることができた。安全性(手で接触可)、簡便性(操作、廃棄)からも学校現場で採用しやすく、現場教員にとっても魅力的で有用な教材であると分かった。さらに、貴重なウミホタルの生体試料を用いた生物発光実験は、児童・生徒にウミホタルが海産生物であることを実感させるとともに、美しいウミホタルの光が、実は生臭くドロツとした汚らしいものから出て

いるというギャップを感じさせることができる。科学教育、および道徳教育の見地から、「ものごとは見かけただけから単純に判断してはいけない」ということを教えるにも役立ち、貴重な試料を使っても行う価値がある実験である。「水からの伝言」のような疑似科学⁸⁾の撲滅にも貢献できると考えている。

当研究室におけるウミホタルルシフェリンの化学合成による大量調製が完成間近であり、ルシフェリンの供給⁹⁾が容易になれば、「ホタライト」のようにルシフェリンとルシフェラーゼに分離した形で実験を行うことが可能になる。また、貴重な生体試料の再使用ができるようになる。さらに遺伝子操作によるルシフェラーゼ¹⁰⁾が安価で供給されるようになれば、材料の入手も容易になり、教材実験として一層に普及することが期待される。

8.おわりに

ウミホタルの生物発光実験をきっかけに、児童・生徒には、身の回りの自然をよく観察し、理科への興味を膨らませ、学習を重ねて科学的なものの見方やセンスを身につけてもらいたいと強く願う。

最後に、大変残念なことであるが、次の写真のように、2007年のウミホタル採集では、ウミホタルの産地として全国的にも有名であった千葉県館山市の館山棧橋の取り壊し工事に遭遇することになった。館山港改修事業で、バスが走れる500mの道路棧橋と、その先にT字に、「飛鳥」のような豪華客船が接岸できる、深さ7.5m長さ240mの棧橋などを造る計画である。1994年以来12回、研究用ウミホタルの採集に訪れており、いろいろな思い出がいっぱい詰まっている場所であった。地元の人から、生物に優しい、ウミホタルの観察スポットを備えた棧橋を造るというような話も聞いたが、これからもウミホタルが生息し続けられることを、強く祈るばかりである。



2006年8月31日 館山棧橋付け根



2007年8月30日 館山栈橋付け根



2007年8月30日 館山栈橋, 先端部はまだ残存

参 考 文 献

- 1) 佐藤 由紀夫, 遺伝 2000, 54 (3), 54 58 .
- 2) 中村理工工業(株), Cat. No. L55 7991「ホタライト」添付, 取扱説明書 .
- 3) ウミホタル生物発光の記述のある主な日本語単行書: 後藤俊夫, "生物発光", 共立, 東京, 1975; 今井一洋編, "生物発光と化学発光基礎と実験", 廣川, 東京, 1989; 羽根田弥太, "発光生物", 恒星社厚生閣, 東京, 1985; 羽根田弥太, "発光生物の話", 北隆館, 東京, 1983; 阿部勝巳, "海蛍の光 地球生物学にむけて", 筑摩, 東京, 1994 .
- 4) ウミホタルに関する以下の Web サイト,
ウミホタルショー実行委員会: <http://www.umihotaru.jp/>.
Source of Wonder: <http://umiho.net/>.
- 5) 千葉県立幕張西高等学校科学同好会, 第36回日本学生科学賞入選1等作品 "刺激に対するウミホタルの応答 ウミホタルはなぜ光るのか", 1992, pp 55 61 .
- 6) Y. Toya, in "Bioluminescence & Chemiluminescence Progress and Perspectives", World Scientific, Singapore, 2005 pp 129 132 .
- 7) 以下の Web サイトを参照 .
第2回教材・教具フェア応募作品, 広島県立安古市高等学校2年松島康浩, 作品カード高 21; <http://pfrq3.hiroshima-c.ed.jp/syokuyousoudan/jisakufea/h14/data/card-h/h-21.pdf>
- 8) 「水からの伝言」の内容の疑似科学性, および関連した問題については以下の Web サイトを参照 .
「TOSS ランド」(教育技術法則化運動)へのコメント(2003/02/03): http://atom11.phys.ocha.ac.jp/wwatch/misc/comment_misc_06.html.
「水からの伝言」と科学立国, 化学と工業2006, 9月号, 日本化学会:
<http://www.chemistry.or.jp/kaimu/ronsetsu/ronsetsu0609.pdf>.
以下のウィキペディアで「水からの伝言」を検索すると関連するサイトへのリンクがある:
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>.
- 9) ウミホタルルシフェリン・2 HBr が以下の Web サイトで販売されているが, その価格は250 μg, 500 μg, 1 mg で, それぞれ \$ 200.00, \$ 350.00, \$ 600.00である:
<http://www.nanolight.com/nanofuel.htm>.
- 10) ウミホタルの生物発光系を利用した発光測定によるレポーターアッセイキットがアトー株式会社から発売されている. 以下参照 .
アトー科学機器総合カタログ2008~2009年版, pp 246 249 .
(平成19年9月18日受理)

謝 辞

本研究は2006年度愛知教育大学学長裁量経費 (G.P 等先行投資型プロジェクト経費) により財政的にご支援いただきました。凍結乾燥ウミホタルと乾燥ウミホタルの発光強度を比較いただいた千葉県立千葉工業高等学校の田原豊教諭, 凍結乾燥ウミホタルを活用した授業を行ってご評価いただいた本学附属岡崎中学校の石原博文教諭に深謝いたします。また, ウミホタルの線描画をいただきました元静岡大学の故阿部勝巳博士に, この場を借りて厚くお礼申し上げます。最後に, 今回の実践の機会を設けていただいた皆様, アンケートにご協力いただいた皆様に感謝いたします。